

Decolorization and Mineralization of Real Textile Wastewater Using Electrogenerated Hydrogen Peroxide in the Presence of Copper Ion

Akbar Eslami¹,
Mohammad-Reza Massoudinejad²,
Farshid Ghanbari³,
Farzaneh Veisi⁴,
Mahsa Moradi⁵,
Fayyaz Mehdipour⁵

¹ Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ PhD Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

⁴ Student Research Committee, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁵ MSc student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received December 31, 2012; Accepted September 29, 2013)

Abstract

Background and purpose: Indirect electro-oxidation method with H₂O₂ electrogeneration is an electrochemical process for wastewater treatment based on the production of hydroxyl radicals by means of H₂O₂ generation in the presence of transition metals such as copper.

Materials and methods: The electrogenerated hydrogen peroxide process was performed in an open and undivided cell to be assessed for degradation of real textile wastewater using graphite felt (cathode) and Pt (anode) in the presence of copper ions. The effect of major parameters such as dissolved oxygen concentration, initial pH, applied current, copper concentration and time reaction on the decolorization was investigated.

Results: 67.9% decolorization and 56.3% chemical oxygen demand (COD) removal were achieved after 210 minutes reaction under the conditions 7.8-7.9 mg/l dissolved oxygen, 250 mA applied current, 7 mM copper concentration and pH=4.

Conclusion: The electrogenerated H₂O₂ process in presence of copper ions could degrade real textile wastewater. Moreover, due to generation of hydrogen peroxide, this process can be economically important.

Keywords: Textile wastewater, electrogenerated hydrogen peroxide, decolorization, mineralization

رنگ‌زدایی و معدنی‌سازی فاضلاب واقعی نساجی با استفاده از فرایند تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در حضور یون مس

اکبر اسلامی^۱

محمد رضا مسعودی نژاد^۲

فرشید قنبری^۳

فرزانه ویسی^۴

مهسا مرادی^۵

فیاض مهدی پور^۵

چکیده

سابقه و هدف: روش اکسیداسیون غیر مستقیم با تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن، یک فرایند الکتروشیمیایی برای تصفیه فاضلاب است که بر اساس تولید رادیکال هیدروکسیل، به وسیله تولید پراکسید هیدروژن در حضور فلزات واسطه مانند مس انجام می‌گیرد.

مواد و روش‌ها: تولید پراکسید هیدروژن در یک سل باز و تقسیم نشده با آند پلاتین و کاتد گرافیت فلت در حضور یون مس برای تجزیه فاضلاب واقعی نساجی مورد ارزیابی قرار گرفت. اثر متغیرهایی همچون اکسیژن محلول، pH اولیه، شدت جریان، غلظت مس و زمان واکنش بر روی رنگ‌زدایی مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۶۷/۹ درصد رنگ‌زدایی و ۵۶/۳ درصد حذف COD (Chemical oxygen demand) بعد از ۲۱۰ دقیقه زمان واکنش تحت شرایط غلظت اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر، غلظت یون مس ۷ میلی مولار و pH = ۴ به دست آمد.

استنتاج: با توجه به نتایج، فرایند تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در حضور یون مس قادر به تجزیه فاضلاب واقعی نساجی است. علاوه بر این، به علت تولید پراکسید هیدروژن، این فرایند از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشد.

واژه های کلیدی: فاضلاب نساجی، تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن، رنگ‌زدایی، معدنی‌سازی

مقدمه

پراکسید هیدروژن به عنوان یک ماده شیمیایی سبز مطرح است که در اثر تجزیه، تنها باقی مانده آن آب و اکسیژن می‌باشد (۳). استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان یک ماده مؤثر برای کنترل آلودگی و گندزدایی در محیط آبی پیشنهاد می‌شود. پراکسید هیدروژن همچنان متداول‌ترین اکسید کننده غیر انتخابی برای اکسیداسیون آلاینده‌های آلی به دی اکسید

تولید صنعتی پراکسید هیدروژن (H_2O_2) از سال ۱۸۱۸ توسط Thenard (به نقل از Jones) با واکنش دی اکسید باریم و اسید کلریدریک آغاز شد. در سال ۱۸۸۲ پراکسید هیدروژن با احیای اکسیژن محلول در محیط قلیایی هیدروکسید سدیم، به صورت الکتروشیمیایی تولید گردید (۱، ۲).

این پژوهش قسمتی از طرح تحقیقاتی شماره ۲۵/۱۱/۱۳۶۳ پ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی بود.

E-mail: ghanbari.env@gmail.com

مؤلف مسئول: فرشید قنبری - اهواز: بلوار گلستان، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، دانشکده بهداشت.

۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

۴. عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۵. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۶/۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۷

همچنین با توجه به استفاده از الکترودی از جنس پلاتین به عنوان آند، می‌توان شاهد فرایند اکسیداسیون مستقیم بود که سبب تجزیه مولکول آب و در نهایت، تولید رادیکال هیدروکسیل در سطح آند می‌شود (واکنش شماره ۵). این امر باعث افزایش کارایی فرایند تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن نیز می‌گردد (۱۱، ۲).



تصفیه فاضلاب نساجی به دلیل حضور مواد رنگ‌زا که دارای خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی برای انسان می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین به دلیل سمی بودن این فاضلاب‌ها، روش‌های متداول تصفیه برای این نوع فاضلاب‌ها کارایی چندانی ندارد؛ به طوری که فرایند انعقاد به دلیل تولید لجن زیاد، عملکرد مطلوبی ندارد و روش‌های بیولوژیکی با وجود مواد سمی ناشی از رنگ‌زاهای برای میکروارگانیسم‌ها مناسب نمی‌باشند و استفاده از کلر نیز به دلیل ترکیبات جانبی کاربرد ندارد (۷، ۲). به همین دلیل روش‌های اکسیداسیون پیشرفته برای تخریب ترکیبات آلی موجود در فاضلاب پیشنهاد شده است.

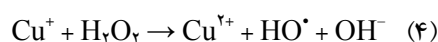
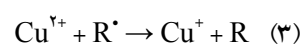
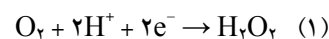
Badellino و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از الکترود سیلندری کربن و در حضور اشعه ماورای بنفش و یون فرو به منظور معدنی‌سازی فاضلاب نساجی به راندمان ۶۹ درصد حذف کربن آلی کل دست یافتند (۶). Wang و همکاران با استفاده از کاتد الیاف کربن فعال به منظور حذف COD (Chemical oxygen demand) از فاضلاب نساجی، از روش الکتروفتوتون استفاده کردند که بعد از ۲۴۰ دقیقه در حضور یون فرو به بیش از ۷۰ درصد راندمان حذف رسیدند (۱۱).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در اکثر مطالعات انجام شده از یون فرو به عنوان کاتالیست استفاده شده است. همچنین بیشتر مطالعات بر روی نمونه‌های سنتتیک مواد رنگ‌زا انجام شده است و کمتر بر روی فاضلاب واقعی نساجی، به عنوان ترکیبی از مواد مختلف آلی و معدنی به عنوان یک ماتریکس پیچیده مطالعه شده است. در نهایت، در پژوهش‌های تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن، میزان اکسیژن محلول به

کربن و آب است. واکنش پذیری این ماده به شدت وابسته به مواد آلی و حضور کاتالیزورهایی همچون UV (Ultraviolet) و فلزات واسطه می‌باشد (۳-۵). در سال‌های اخیر، مطالعات فراوانی مرتبط با تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در محیط در شرایط اسیدی برای تصفیه پساب گزارش شده است. تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن به علت خطرات ناشی از حمل و نقل، جابه‌جایی و ذخیره‌سازی پراکسید هیدروژن غلیظ و همچنین هزینه کمتر آن به شدت مورد توجه قرار گرفته است (۹-۶).

در دهه گذشته، فرایندهای الکتروشیمیایی اکسیداسیون پیشرفته (Electrochemical advanced oxidation processes) یا EAOPs برای تخریب آلاینده‌های مقاوم آلی از فاضلاب توسعه یافته‌اند (۲). در میان فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته و الکتروشیمیایی جزء فرایندهای دوستدار محیط زیست و قادر به تولید رادیکال هیدروکسیل می‌باشند. فرایندهای الکترواکسیداسیون به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. فرایندهای الکترواکسیداسیون غیر مستقیم بر پایه تولید یک اکسید کننده در محیط می‌باشد. مکانیسم تولید پراکسید هیدروژن، احیای دو الکترون از اکسیژن محلول در کاتد از جنس کربن است (واکنش شماره ۱) که در حضور مقداری کاتالیزور (Fe^{2+} , Fe^{3+} و Cu^{2+}) واکنش فتون و یا شبه فتون شکل می‌گیرد و رادیکال هیدروکسیل تولید می‌شود (۵، ۲).

با توجه به واکنش‌های شماره ۲، ۳ و ۴ در تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در حضور یون مس دو ظرفیتی، ابتدا یون مس دو ظرفیتی در اثر واکنش با HO_2^\bullet یا ترکیبات آلی، به مس تک ظرفیتی تبدیل می‌شود و سپس در اثر واکنش با پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند (۱۰، ۲).



هوا، اکسیژن محلول نمونه تأمین گردید. اکسیژن محلول در طول آزمایش به طور پیوسته در حال کنترل و پایش بود. به منظور اختلاط کامل از یک همزن مغناطیسی استفاده شد.

قبل از شروع الکترولیز، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه توسط کمپرسور از هوا اشباع گردید. سپس مقداری سولفات مس به عنوان کاتالیزور برای ترکیب با H_2O_2 به نمونه اضافه گردید. به منظور تنظیم pH، اسید سولفوریک و $NaOH$ ۰/۵ مولار به کار برده شد. پس از اتمام زمان واکنش، منبع تغذیه خاموش و نمونه‌گیری از میان رآکتور انجام گردید. به منظور اندازه‌گیری COD و رنگ، نمونه‌ها از صافی ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. تمام آزمایش‌ها ۲ بار تکرار گردید. میزان پراکسید هیدروژن تولیدی نیز در فاضلاب به دلیل حضور مواد آلی و تجزیه سریع آن وسط یون مس، قابل اندازه‌گیری نبود.

یافته‌ها

کیفیت اولیه فاضلاب

جدول شماره ۱ کیفیت فاضلاب خام صنعت نساجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، این فاضلاب دارای نسبت $BOD_5/COD = 0/162$ (Chemical oxygen demand / Biochemical oxygen demand) می‌باشد که نشان دهنده عدم تجزیه پذیری بیولوژیکی آن است.

در این مطالعه، در هر مرحله یک متغیر و دیگر متغیرهای مورد بررسی، ثابت در نظر گرفته شد و بهترین عملکرد هر متغیر در مرحله بعدی لحاظ گردید.

نمودار شماره ۱ اثر اکسیژن محلول در محدوده ۹-۰ میلی‌گرم بر لیتر را بر کارایی حذف رنگ و COD نشان می‌دهد. به منظور بررسی اثر اکسیژن، در شرایط ثابت $pH = 3$ ، شدت جریان ۲۰۰ میلی‌آمپر و غلظت ۵ میلی‌مولار یون مس در زمان ۱۸۰ دقیقه الکترولیز، میزان کارایی فرایند سنجیده شد. بیشترین میزان کارایی در غلظت اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. در این شرایط، راندمان حذف COD و رنگ به ترتیب ۴۷/۳ و ۴۰/۷ درصد بود. بنابراین، ادامه آزمایش‌ها در این غلظت از اکسیژن محلول انجام گردید.

عنوان یک متغیر اثرگذار، مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه، اثر متغیرهای غلظت اکسیژن محلول، pH، شدت جریان، غلظت یون مس و زمان واکنش در رنگ‌زدایی و معدنی‌سازی فاضلاب واقعی نساجی، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

فاضلاب مورد بررسی از کارخانه نساجی واقع در استان زنجان جمع‌آوری و در ظروف تیره در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. مواد شیمیایی مورد استفاده شامل سولفات مس، سولفات نقره، دی کرومات پتاسیم، سولفات جیوه، سولفات منگنز و فرو سولفات آمونیوم با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت Sigma-Aldrich تهیه گردید و همچنین اسید سولفوریک ۹۸ درصد، از شرکت Merck خریداری شد.

به منظور اندازه‌گیری رنگ فاضلاب به روش ADMI (American Dye Manufacturers Institute)، از دستگاه DR5۰۰۰-HACH که معادلات و روابط این روش بر روی این دستگاه نصب شده بود، استفاده گردید. همچنین برای معدنی‌سازی فاضلاب، شاخص COD در نظر گرفته شد. برای تعیین این شاخص از روش پتاسیم دی کرومات به صورت تقطیر برگشتی در محیط اسیدی و تیتراسیون آن با فرو سولفات آمونیوم، استفاده گردید (۱۲).

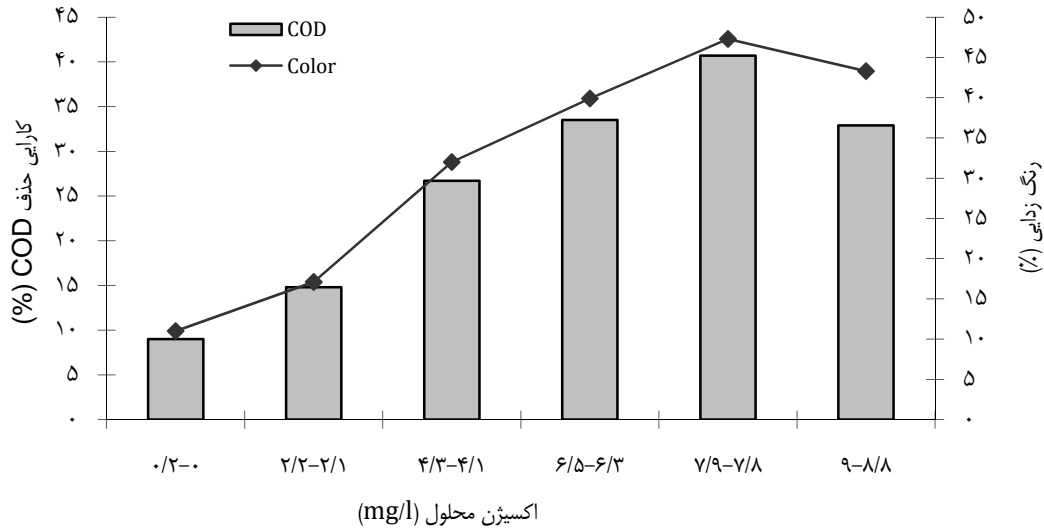
pH نمونه با استفاده از دستگاه pH متر مدل WTW۷۲۰ که با دو pH ۴ و ۷ کالیبره شده بود، انجام گردید. برای اندازه‌گیری اکسیژن محلول دستگاه DO متر مدل YSI-۵۵ ساخت کشور آمریکا مورد استفاده قرار گرفت.

یک سلول الکتروشیمیایی با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر با قطر ۵ سانتی‌متر برای ۲۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب واقعی نساجی مورد استفاده قرار گرفت. الکترود کاتد از جنس گرافیت فلت با سطح مؤثر ۶۲/۵ سانتی‌متر مربع (ساخت شرکت سازه مرکب) که در دیواره درونی سل نصب شده بود و الکترود آند نیز از جنس پلاتین با سطح ۲ سانتی‌متر مربع در مرکز سل به کار برده شد. از یک منبع تغذیه دیجیتال (۲۰ ولت، ۲ آمپر) برای ایجاد جریان مستقیم، استفاده گردید. همچنین با استفاده از یک کمپرسور

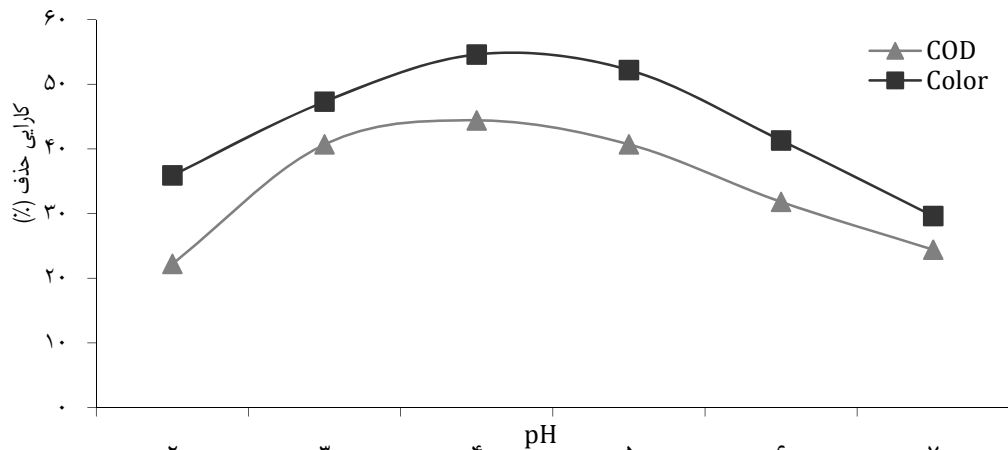
جدول شماره ۱: کیفیت فاضلاب خام صنعت نساجی

متغیر	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	رنگ (ADMI)	pH	BOD ₅ /COD
مقدار	۱۳۵۰ ± ۵۰	۲۲۰ ± ۲۰	۲۰۱۰ ± ۱۵	۶/۵ ± ۰/۱	۰/۱۶۲

BOD₅: Biochemical oxygen demand, COD: Chemical oxygen demand, ADMI: American Dye Manufacturers Institute



نمودار شماره ۱: اثر میزان اکسیژن محلول بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (pH = ۳، شدت جریان ۲۰۰ میلی آمپر، غلظت یون مس ۵ میلی مولار و زمان ۱۸۰ دقیقه)



نمودار شماره ۲: اثر pH بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، شدت جریان ۲۰۰ میلی آمپر، غلظت یون مس ۵ میلی مولار و زمان ۱۸۰ دقیقه)

COD کاهش یافته است. علاوه بر این، در pH معادل ۲، میزان کارایی رنگ و COD به شدت کاهش یافته است. در شرایط بهینه pH = ۴، میزان حذف COD ۴۴/۴ درصد بود که این میزان در pH = ۲ به ۲۲/۲ درصد رسید. تأثیر شدت جریان بر رنگ‌زدایی به عنوان متغیر اصلی در

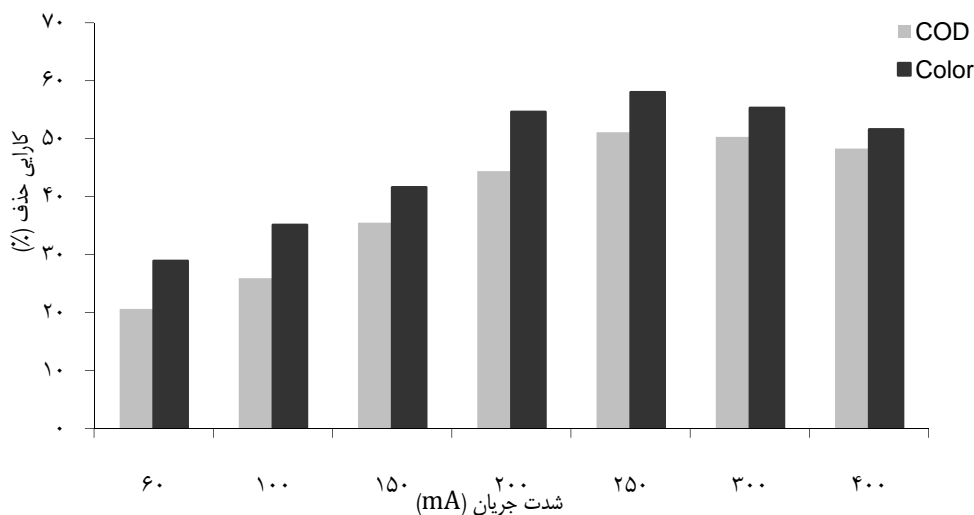
اثر pH در محدوده ۲-۷ برای تجزیه فاضلاب واقعی نساجی در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود. با توجه به این نمودار، pH = ۴ بیشترین میزان حذف رنگ و COD را دارد که این pH به عنوان شرایط بهینه برای مرحله بعدی انتخاب گردید. با افزایش pH بیشتر از ۴، میزان کارایی حذف رنگ و

تولید پراکسید هیدروژن در نمودار شماره ۳ آورده شده است. بعد از بهینه‌سازی اکسیژن محلول و pH، شدت جریان در محدوده جریان ۴۰۰-۶۰ میلی آمپر مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش شدت جریان، کارایی حذف نیز افزایش یافت؛ به طوری که این افزایش از ۶۰ میلی آمپر تا ۲۵۰ میلی آمپر باعث افزایش کارایی رنگ‌زدایی از ۲۸/۹ به ۵۸/۰ درصد شد.

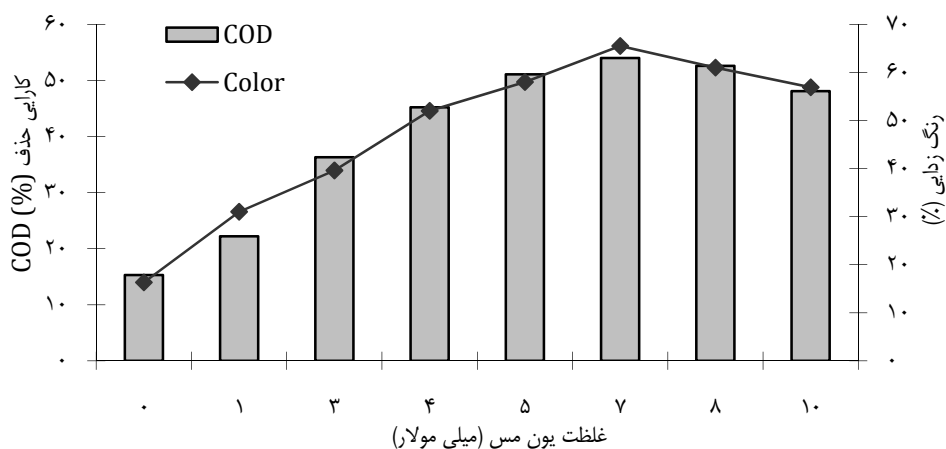
در شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر بیشترین راندمان حذف مواد آلی دیده شد. در شدت جریان‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی آمپر، با کاهش نامحسوس کارایی فرایند مواجه شدیم؛ به طوری که رنگ‌زدایی در شدت جریان ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی آمپر به ۵۵/۳ و

۵۱/۶ درصد رسید.

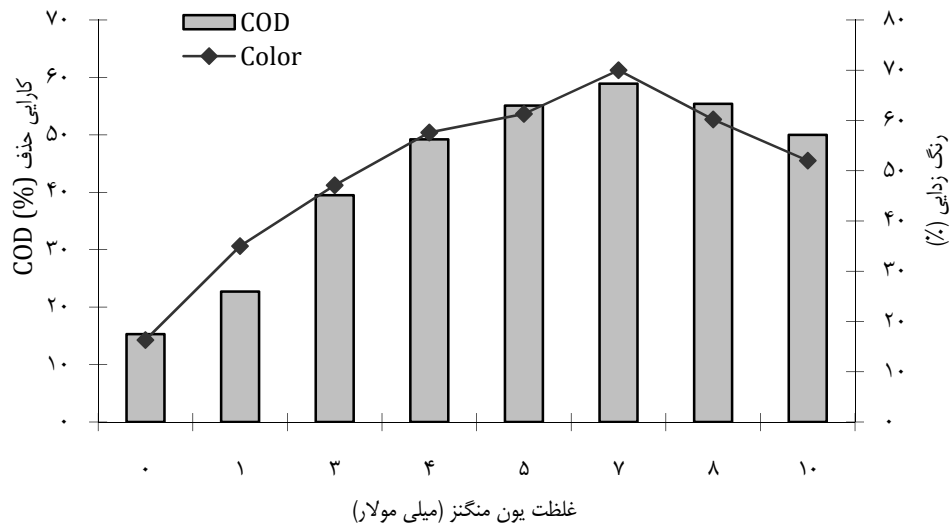
در نمودارهای شماره ۴ و ۵، نتایج بررسی کارایی فرایند تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در حضور غلظت‌های متفاوت یون مس و یون منگنز در شرایط بهینه در غلظت اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH} = 4$ و شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر نمایش داده شده است. نتایج حاصل از این نمودارها، حاکی از عملکرد حداکثر این فرایند در غلظت ۷ میلی مولار می‌باشد. درباره عملکرد هر دو کاتالیست، غلظت بیش از ۷ میلی مولار، باعث کاهش کارایی فرایند در حذف رنگ و COD شده است.



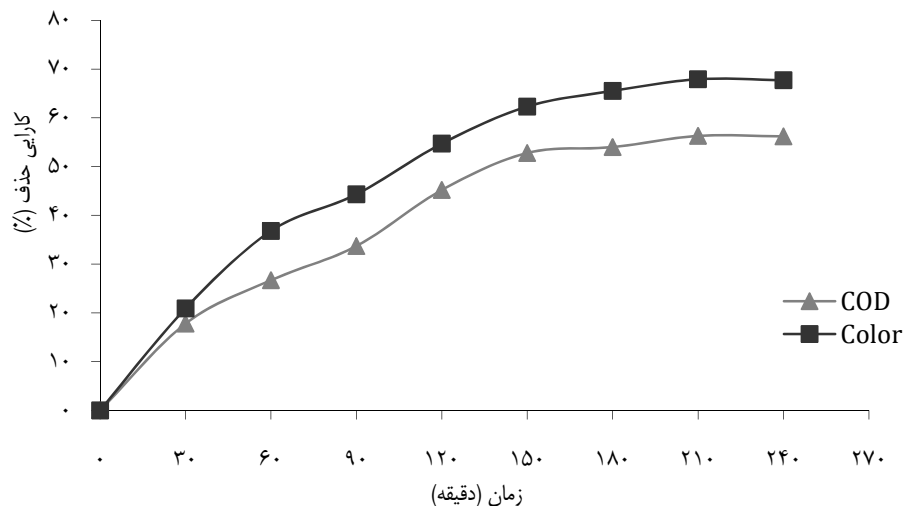
نمودار شماره ۳: اثر شدت جریان بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH} = 4$ ، غلظت یون مس ۵ میلی مولار و زمان ۱۸۰ دقیقه)



نمودار شماره ۴: اثر غلظت یون مس دو ظرفیتی بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH} = 4$ ، شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر و زمان ۱۸۰ دقیقه)



نمودار شماره ۵: اثر غلظت یون منگنز دو ظرفیتی بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH} = 4$ ، شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر و زمان ۱۸۰ دقیقه)



نمودار شماره ۶: اثر زمان واکنش بر تجزیه فاضلاب واقعی نساجی (اکسیژن محلول ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH} = 4$ ، شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر و غلظت یون مس ۷ میلی مولار)

بحث

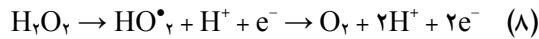
اثر میزان اکسیژن محلول

همان‌طور که نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد، با افزایش اکسیژن محلول کارایی فرایند نیز افزایش می‌یابد. این افزایش به علت افزایش تولید الکتروشیمیایی پراکسید هیدروژن در محلول است که در حضور یون مس، تجزیه و به رادیکال هیدروکسیل تبدیل می‌شود. بیشترین کارایی حذف در غلظت ۷/۸-۷/۹

در نهایت، نمودار شماره ۶ اثر زمان واکنش در حذف رنگ و COD را در بهترین شرایط به دست آمده از مراحل قبلی را نشان می‌دهد.

در شرایط زمان ۲۱۰ دقیقه، غلظت یون مس ۷ میلی مولار، غلظت اکسیژن ۷/۸-۷/۹ میلی گرم بر لیتر، و $\text{pH} = 4$ و شدت جریان ۲۵۰ میلی آمپر میزان حذف COD و رنگ، به ترتیب ۶۷/۹ و ۵۶/۳ درصد بود.

است و احتمال می‌رود ناشی از تجزیه H_2O_2 در آند باشد (واکنش شماره ۸) که ابتدا به هیدرو پروکسیل و سپس به اکسیژن و یون هیدروژن تبدیل می‌گردد (۱۷).



با توجه به این که با افزایش شدت جریان، میزان انرژی مصرفی نیز افزایش می‌یابد، شدت جریان بهینه برای فرایند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به نتایج، شدت جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر برای این فرایند مناسب به نظر می‌رسد.

اثر مقدار کاتالیزور بر کارایی حذف COD و رنگ

پراکسید هیدروژن در حضور فلزات واسطه، تجزیه و به رادیکال هیدروکسیل تبدیل می‌شود. با توجه به واکنش شماره ۴، با افزایش غلظت کاتالیزور، پراکسید هیدروژن بیشتری تجزیه می‌گردد و در نتیجه، رادیکال هیدروکسیل بیشتری تولید می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده در نمودار شماره ۴، در شرایط عدم حضور یون مس دو ظرفیتی، کارایی فرایند بسیار کم است و در حضور مقدار کمی یون مس، افزایش چشمگیری در تجزیه مواد آلی مشاهده می‌شود. در حضور ۷ میلی‌مولار یون مس، کارایی فرایند به ترتیب به ۵۴/۰ و ۶۵/۵ درصد برای حذف COD و رنگ می‌رسد. اما بعد از این مقدار، از کارایی فرایند کم می‌شود.

بر اساس واکنش پیشنهادی Haber و Weiss، همان‌طور که در واکنش فنتون، یون فرو می‌تواند نقش جذب کننده رادیکال هیدروکسیل را داشته باشد، این احتمال وجود دارد که کاهش کارایی فرایند ناشی از مصرف رادیکال هیدروکسیل توسط یون مس باشد (۱۸).

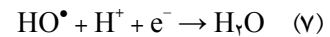
از دیگر فلزات واسطه‌ای که در واکنش با پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند، منگنز است که اثر آن نیز مانند یون مس، مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودار شماره ۵ نشان می‌دهد که افزایش میزان یون منگنز نیز همانند یون مس تا غلظت ۷ میلی‌مولار، با افزایش رنگ‌زدایی همراه است؛ اما بعد از این مقدار، کاهش بیشتری نسبت به یون مس در کارایی دیده می‌شود. در غلظت ۷ میلی‌مولار، کارایی

میلی‌گرم بر لیتر اکسیژن محلول مشاهده شده است. بعد از این مقدار، در غلظت ۹/۰-۸/۸ میلی‌گرم بر لیتر اکسیژن محلول، از میزان کارایی فرایند کاسته می‌شود که این پدیده ممکن است به علت تولید پراکسید هیدروژن بیشتر باشد که باعث تجزیه خود به خودی پراکسید هیدروژن می‌گردد و از تولید رادیکال هیدروکسیل بیشتر جلوگیری می‌کند (واکنش شماره ۶) که در نتیجه، از کارایی حذف رنگ کاسته می‌شود (۱۳).



اثر pH بر کارایی حذف COD و رنگ

با توجه به نمودار شماره ۲، بیشترین کارایی حذف رنگ و COD در pH = ۴ مشاهده گردید. در pH پایین‌تر به علت غلظت بیشتر هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل تولید شده در واکنش با هیدروژن به آب تبدیل می‌گردد و در نتیجه از کارایی فرایند کاسته می‌شود. در حقیقت، یون هیدروژن به عنوان جذب کننده (Scavenger) رادیکال هیدروکسیل عمل می‌کند (۱۵، ۱۴).



همچنین زمانی که pH محلول به سمت خنثی میل می‌کند، کاهش راندمان مشاهده می‌گردد؛ به طوری که در pH = ۷ تنها ۲۴/۴ درصد معدنی‌سازی مشاهده می‌شود. میزان کم معدنی‌سازی، می‌تواند ناشی از عدم تولید بهینه پراکسید هیدروژن باشد. همچنین در این pH، رسوب هیدروکسید مس نیز ممکن است تشکیل شود که در این صورت، واکنش با پراکسید هیدروژن به کندی اتفاق می‌افتد. این نتایج با مطالعه Eren و Acar مطابقت دارد (۱۴).

اثر شدت جریان بر کارایی حذف COD و رنگ

در نمودار شماره ۳ با افزایش شدت جریان، میزان کارایی فرایند افزایش می‌یابد. این افزایش، به دلیل افزایش تولید H_2O_2 در محیط است. همچنین با افزایش شدت جریان بعد از ۲۵۰ میلی‌آمپر، رنگ‌زدایی به مقدار کمی کاهش یافت. این پدیده توسط Ghoneim و همکاران (۱۶) نیز گزارش شده

مقاوم به تجزیه بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد. این فرایند توانست در شرایط بهینه ۶۷ درصد رنگ و ۵۶ درصد COD را از فاضلاب واقعی نساجی حذف نماید. عدم تولید لجن و عدم استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان مهم‌ترین مزیت‌های این فرایند، می‌تواند آن را از لحاظ اقتصادی توجیه نماید. با توجه به عملکرد و مزایای این روش، این فرایند می‌تواند به عنوان پیش‌تصفیه برای فرایندهای دیگر به کار رود. در نهایت، پیشنهاد می‌گردد عملکرد این فرایند برای کاهش سمیت فاضلاب نیز بررسی گردد و کاربرد همزمان دو فلز واسطه به عنوان کاتالیست نیز می‌تواند جزء مطالعات بعدی باشد.

سپاسگزاری

همچنین بدینوسیله از کارشناس مسؤول آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، مهندس سیمیندخت میرشفیعیان و از مسؤولین شرکت سازه مرکب مهندس علی غلامی و مهندس مرضیه بزرگ‌تشرک می‌گردد.

حذف رنگ و COD به ترتیب ۷۰/۰ و ۵۸/۹ درصد می‌باشد که همانند مطالعه Lei و همکاران، در مقایسه با مس کارایی بهتری دارد (۱۹، ۱۰).

اثر زمان واکنش بر کارایی حذف COD و رنگ

واضح است که با افزایش زمان واکنش، کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد و تا زمان ۲۱۰ دقیقه کارایی فرایند در حال افزایش است و بعد از این زمان، تغییری در تجزیه مواد آلی دیده نشد که می‌توان آن را به تولید ترکیبات واسطه که به سختی قابل اکسید شدن می‌باشند، نسبت داد. در شرایط زمان ۲۱۰ دقیقه، میزان حذف COD و رنگ به ترتیب ۵۶/۳ و ۶۷/۹ درصد می‌باشد. این شرایط به عنوان بهترین عملکرد فرایند انتخاب گردید.

تصفیه آب‌های آلوده به مواد رنگی با استفاده از روش الکترواکسیداسیون غیر مستقیم در حضور کاتالیزور (فلزات واسطه) قادر به معدنی‌سازی ترکیبات آلی و حذف رنگ می‌باشد. این روش با توجه به تولید عامل اکسید کننده همچون پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل در محیط، می‌تواند به عنوان یک فرایند پیشرو در تصفیه مواد

References

- Jones CW. Applications of Hydrogen Peroxide and Derivatives. London, UK: Royal Society of Chemistry, 1999.
- Brillas E, Sires I, Cabot PL. Use of Both Anode and Cathode Reactions in Wastewater Treatment. In: Comninellis CH, Chen G, Editors. Electrochemistry for the Environment. New York, NY: Springer; 2009. p. 514-55.
- Pardieck DL, Bouwer EJ, Stone AT. Hydrogen peroxide use to increase oxidant capacity for in situ bioremediation of contaminated soils and aquifers: A review. Journal of Contaminant Hydrology 1992; 9(3): 221-42.
- Sheng Y, Song S, Wang X, Song L, Wang CH, Sun H, et al. Electrogenation of hydrogen peroxide on a novel highly effective acetylene black-PTFE cathode with PTFE film. Electrochimica Acta 2011; 56(24): 8651-6.
- Pignatello JJ, Oliveros E, MacKay A. Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 2006; 36(1): 1-84.
- Badellino C, Rodrigues CA, Bertazzoli R. Oxidation of pesticides by in situ electrogenerated hydrogen peroxide: study for the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. J Hazard Mater 2006; 137(2): 856-64.
- Yousefi Z, Yousefi N, Dianati Tileki RA, Malaki A, Mohamadpur RA, Ghahramani E. Evaluation of the Combined GAC-SBR System Performance in the Removal of Yellow 3 and Disperse Yellow 3 Reactive Dyes from the Waste. J Mazandaran Univ Med Sci 2012; 21(86): 39-48. (Persian).
- Oturan N, Sires I, Oturan MA, Brillas E. Pesticides, electro-Fenton, photoelectro-Fenton, carbon-felt cathode, gas diffusion cathode, water treatment. J Environ Eng Manage 2009; 19(5): 235-55.
- Pletcher D, Lehmann MW, Burghart A, Little RD, Silvestri G, Tallec A, et al. Indirect Oxidations Using Electrogenerated Hydrogen Peroxide. Acta Chemica Scandinavica 1999; 53: 745-50.

10. Lei H, Li H, Li Z, Li Z, Chen K, Zhang X, et al. Electro-Fenton degradation of cationic red X-GRL using an activated carbon fiber cathode. *Process Safety and Environmental Protection* 2010; 88(6): 431-8.
11. Wang CH, Chou WL, Chung MH, Kuo YM. COD removal from real dyeing wastewater by electro-Fenton technology using an activated carbon fiber cathode. *Desalination* 2010; 253(1-3): 129-34.
12. Eaton AD, Franson AH, American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. New York, NY: American Public Health Association; 2005.
13. Kavitha V, Palanivelu K. Destruction of cresols by Fenton oxidation process. *Water Res* 2005; 39(13): 3062-72.
14. Eren Z, Acar FN. Effect of Fenton's reagent on the degradability of CI Reactive Yellow 15. *Coloration Technology* 2006; 122(5): 259-63.
15. Benitez FJ, Real FJ, Acero JL, Garcia C, Llanos EM. Kinetics of phenylurea herbicides oxidation by Fenton and photo-Fenton processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 2007; 82(1): 65-73.
16. Ghoneim MM, El-Desoky HS, Zidan MN. Electro-Fenton oxidation of Sunset Yellow FCF azo-dye in aqueous solutions. *Desalination* 2011; 274(1-3): 22-30.
17. Flox C, Ammar S, Arias C, Brillas E, Viridiana Vargas-Zavala A, Abdelhedi R. Electro-Fenton and photoelectro-Fenton degradation of indigo carmine in acidic aqueous medium. *Applied Catalysis B: Environmental* 2006; 67(1-2): 93-104.
18. Haber F, Weiss J. The Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide by Iron Salts. *Proc R Soc Lond A* 1934; 147(861): 332-51.
19. Irmak S, Yavuz HI, Erbatur O. Degradation of 4-chloro-2-methylphenol in aqueous solution by electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes. *Applied Catalysis B: Environmental* 2006; 63(3-4): 243-8.